

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Yukio TANIGUCHI

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: CRYSTALLIZATION APPARATUS, CRYSTALLIZATION METHOD, AND PHASE SHIFT MASK  
AND FILTER FOR USE IN THESE APPARATUS AND METHOD

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number \_\_\_\_\_, filed \_\_\_\_\_, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):  
Application No. \_\_\_\_\_ Date Filed \_\_\_\_\_

- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

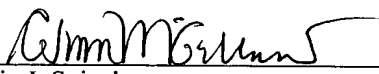
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-274968	September 20, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. \_\_\_\_\_ filed \_\_\_\_\_
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number \_\_\_\_\_  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. \_\_\_\_\_ filed \_\_\_\_\_; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s) \_\_\_\_\_  
☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
\_\_\_\_\_  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-274968

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-274968 ]

出 願 人

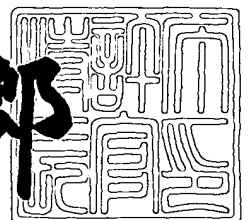
Applicant(s):

株式会社 液晶先端技術開発センター

2003年 7月 2日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3052235

【書類名】 特許願

【整理番号】 YJ-071

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
    先端技術開発センター内

    【氏名】 谷口 幸夫

【特許出願人】

    【識別番号】 501286657

    【氏名又は名称】 株式会社液晶先端技術開発センター

【代理人】

    【識別番号】 100095256

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 山口 孝雄

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 033020

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 0207610

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 結晶化装置および結晶化方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位相シフトマスクを照明する照明系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、

前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定された像側開口数を有し、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを光学的に共役な関係に設定する結像光学系を備え、

前記位相シフトマスクは、第 1 軸線に沿って延びた境界領域と、前記第 1 軸線と直交する第 2 軸線に沿って前記境界領域の両側に配置されて所定の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域とを有し、

前記境界領域は、前記第 1 領域の位相から前記第 2 領域の位相へ前記第 2 軸線に沿って変化する位相分布を有することを特徴とする結晶化装置。

【請求項 2】 前記境界領域は、前記第 2 軸線に沿って連続的に変化する位相分布を有することを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 3】 前記境界領域は、前記第 2 軸線に沿って階段状に変化する位相分布を有することを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 4】 前記第 1 領域と前記境界領域と前記第 2 領域とからなる位相シフト基本パターンが前記第 2 軸線に沿って繰り返し形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 5】 前記境界領域には所定形状の微小領域が形成され、前記微小領域の周辺領域と前記微小領域との間には第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 6】 前記微小領域は、前記境界領域において光強度の最も小さい領域に対応する位置に形成されていることを特徴とする請求項 5 に記載の結晶化装置。

【請求項 7】 前記第 2 の位相差は約 1 8 0 度であることを特徴とする請求

項 5 または 6 に記載の結晶化装置。

【請求項 8】 前記結像光学系は、透過率分布が中央よりも周辺において低い瞳関数を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 9】 前記結像光学系は、透過率分布がガウス型の瞳関数を有することを特徴とする請求項 8 に記載の結晶化装置。

【請求項 10】 前記結像光学系の瞳面またはその近傍には、前記瞳関数に対応した開口率を有するフィルターが配置されていることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の結晶化装置。

【請求項 11】 前記結像光学系の像側開口数を  $NA$  とし、光の波長を  $\lambda$  とし、前記微小領域に外接する円の半径を  $a$  とするとき、

$$a \leq \lambda / NA$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 5 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 12】 位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、

前記結像光学系を介して前記位相シフトマスクと光学的に共役な位置に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定し、

第 1 軸線に沿って延びた境界領域と、前記第 1 軸線と直交する第 2 軸線に沿って前記境界領域の両側に配置されて所定の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域とを有し、前記境界領域が前記第 1 領域の位相から前記第 2 領域の位相へ前記第 2 軸線に沿って変化する位相分布を有する位相シフトマスクを用いることを特徴とする結晶化方法。

【請求項 1 3】 第 1 軸線に沿って延びた境界領域と、前記第 1 軸線と直交する第 2 軸線に沿って前記境界領域の両側に配置されて所定の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域とを有し、前記境界領域が前記第 1 領域の位相から前記第 2 領域の位相へ前記第 2 軸線に沿って変化する位相分布を有することを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項 1 4】 前記境界領域には所定形状の微小領域が形成され、前記微小領域の周辺領域と前記微小領域との間には第 2 の位相差が付与されていることを特徴とする請求項 1 3 に記載の位相シフトマスク。

【請求項 1 5】 結像光学系の瞳面またはその近傍に配置されて瞳関数を規定するフィルターにおいて、

前記瞳関数に対応するように形成された複数の開口部を有することを特徴とするフィルター。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶化装置および結晶化方法に関する。特に、本発明は、位相シフトマスクを用いて位相変調されたレーザ光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する装置および方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、たとえば液晶表示装置 (Liquid-Crystal-Display: LCD) の画素に印加する電圧を制御するスイッチング素子などに用いられる薄膜トランジスタ (Thin-Film-Transistor: TFT) の材料は、非晶質シリコン (amorphous-Silicon) と多結晶シリコン (poly-Silicon) とに大別される。

【0 0 0 3】

多結晶シリコンは、非晶質シリコンよりも電子移動度が高い。したがって、多結晶シリコンを用いてトランジスタを形成した場合、非晶質シリコンを用いる場合よりも、スイッチング速度が速くなり、ひいてはディスプレイの応答が速くなる。また、周辺 L S I を薄膜トランジスタで構成することが可能になる。さらに

、他の部品の設計マージンを減らせるなどの利点がある。また、ディスプレイ本体以外にドライバ回路やDACなどの周辺回路をディスプレイに組み入れる場合に、それらの周辺回路をより高速に動作させることができる。

## 【0004】

多結晶シリコンは結晶粒の集合からなるが、結晶シリコンに比べると電子移動度が低い。また、多結晶シリコンを用いて形成した小型のトランジスタでは、チャネル部における結晶粒界数のバラツキが問題となる。そこで、最近、電子移動度を向上させ且つチャネル部における結晶粒界数のバラツキを少なくするために、大粒径の単結晶シリコンを生成する結晶化方法が提案されている。

## 【0005】

従来、この種の結晶化方法として、多結晶半導体膜または非晶質半導体膜と平行に近接させた位相シフトマスクにエキシマレーザ光を照射して結晶化半導体膜を生成する「位相制御ELA (Excimer Laser Annealing)」が知られている。位相制御ELAの詳細は、たとえば「表面科学Vol.21, No.5, pp.278-287, 2000」に開示されている。

## 【0006】

位相制御ELAでは、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ0の逆ピークパターン（中心において光強度がほぼ0で周囲に向かって光強度が急激に増大するパターン）の光強度分布を発生させ、この逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射する。その結果、光強度分布に応じて溶融領域に温度勾配が生じ、光強度がほぼ0の点に対応して最初に凝固する部分に結晶核が形成され、その結晶核から周囲に向かって結晶が横方向に成長（ラテラル成長）することにより大粒径の単結晶粒が生成される。

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところで、従来技術において一般に用いられる位相シフトマスクは、いわゆるライン型の位相シフトマスクであって、一方向に沿って交互に繰り返される2つの矩形状の領域で構成され、この2つの領域の間には $\pi$ （180度）の位相差が

付与されている。この場合、2つの領域間の境界線が位相シフト部を構成するため、位相シフト部に対応する線上位置において光強度がほぼ0で且つ周囲に向かって一次元的に光強度が増加するような逆ピークパターンの光強度分布が多結晶半導体膜または非晶質半導体膜上に形成されることになる。

#### 【0008】

このように、ライン型の位相シフトマスクを用いる従来技術では、位相シフト部に対応する線に沿って温度分布が最も低くなるとともに、位相シフト部に対応する線と直交する方向に沿って温度勾配が発生する。すなわち、位相シフト部に対応する線上で結晶核が発生し、その結晶核から位相シフト部に対応する線と直交する方向に沿って結晶化が進行する。その結果、結晶核は位相シフト部に対応する線上に発生するものの、線上のどこに結晶核が発生するかは不定であった。換言すると、従来技術では、結晶核の発生位置を制御することは不可能であり、ひいては結晶の形成領域を二次元的に制御することは不可能であった。

#### 【0009】

また、ライン型の位相シフトマスクを用いる従来技術では、2つの隣接した逆ピークパターン部の間の中間部における光強度分布は不規則なうねりを伴うのが一般的である（図5を参照）。この場合、結晶化のプロセスにおいて、中間部のうねりにおいて光強度の低い位置に（すなわち望まない位置に）結晶核が発生することがある。また、結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が、中間部において光強度が減少する部分で停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられる。

#### 【0010】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、所望の位置に結晶核を発生させることができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置および結晶化方法を提供することを目的とする。

#### 【0011】

また、本発明は、結晶核の位置を制御して結晶の形成領域を二次元的にほぼ制御することができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒



径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置および結晶化方法を提供することを目的とする。

#### 【 0 0 1 2 】

##### 【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第 1 形態では、位相シフトマスクを照明する照明系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、

前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定された像側開口数を有し、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを光学的に共役な関係に設定する結像光学系を備え、

前記位相シフトマスクは、第 1 軸線に沿って延びた境界領域と、前記第 1 軸線と直交する第 2 軸線に沿って前記境界領域の両側に配置されて所定の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域とを有し、

前記境界領域は、前記第 1 領域の位相から前記第 2 領域の位相へ前記第 2 軸線に沿って変化する位相分布を有することを特徴とする結晶化装置を提供する。ここで、「位相シフトマスク」は、不連続に位相がシフトする構造を持つのが一般的であるが、本発明では連続的に位相がシフトする構造のものも含める。また、「位相シフト」の意味もこれに準ずる。

#### 【 0 0 1 3 】

第 1 形態の好ましい態様によれば、前記境界領域は、前記第 2 軸線に沿って連続的に変化する位相分布を有する。あるいは、前記境界領域は、前記第 2 軸線に沿って階段状に変化する位相分布を有することが好ましい。また、前記第 1 領域と前記境界領域と前記第 2 領域とからなる位相シフト基本パターンが前記第 2 軸線に沿って繰り返し形成されていることが好ましい。

#### 【 0 0 1 4 】

また、第 1 形態の好ましい態様によれば、前記境界領域には所定形状の微小領域が形成され、前記微小領域の周辺領域と前記微小領域との間には第 2 の位相差

が付与されている。この場合、前記微小領域は、前記境界領域において光強度の最も小さい領域に対応する位置に形成されていることが好ましい。また、前記第2の位相差は約180度であることが好ましい。

#### 【0015】

さらに、第1形態の好ましい態様によれば、前記結像光学系は、透過率分布が中央よりも周辺において低い瞳関数を有する。この場合、前記結像光学系は、透過率分布がガウス型の瞳関数を有することが好ましい。また、前記結像光学系の瞳面またはその近傍には、前記瞳関数に対応した開口率を有するフィルターが配置されていることが好ましい。

#### 【0016】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記結像光学系の像側開口数をNAとし、光の波長を $\lambda$ とし、前記微小領域に外接する円の半径をaとするとき、 $a \leq \lambda / NA$ の条件を満足する。

#### 【0017】

本発明の第2形態では、位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、

前記結像光学系を介して前記位相シフトマスクと光学的に共役な位置に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定し、

第1軸線に沿って延びた境界領域と、前記第1軸線と直交する第2軸線に沿って前記境界領域の両側に配置されて所定の位相差を有する第1領域および第2領域とを有し、前記境界領域が前記第1領域の位相から前記第2領域の位相へ前記第2軸線に沿って変化する位相分布を有する位相シフトマスクを用いることを特徴とする結晶化方法を提供する。

## 【 0 0 1 8 】

本発明の第 3 形態では、第 1 軸線に沿って延びた境界領域と、前記第 1 軸線と直交する第 2 軸線に沿って前記境界領域の両側に配置されて所定の位相差を有する第 1 領域および第 2 領域とを有し、前記境界領域が前記第 1 領域の位相から前記第 2 領域の位相へ前記第 2 軸線に沿って変化する位相分布を有することを特徴とする位相シフトマスクを提供する。この場合、前記境界領域には所定形状の微小領域が形成され、前記微小領域の周辺領域と前記微小領域との間には第 2 の位相差が付与されていることが好ましい。

## 【 0 0 1 9 】

本発明の第 4 形態では、結像光学系の瞳面またはその近傍に配置されて瞳関数を規定するフィルターにおいて、前記瞳関数に対応するように形成された複数の開口部を有することを特徴とするフィルターを提供する。

## 【 0 0 2 0 】

## 【発明の実施の形態】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図 1 は、本発明の第 1 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。また、図 2 は、図 1 の照明系の内部構成を概略的に示す図である。図 1 および図 2 を参照すると、第 1 実施形態の結晶化装置は、位相シフトマスク 1 を照明する照明系 2 を備えている。照明系 2 は、たとえば 2 4 8 n m の波長を有する光を供給する K r F エキシマレーザ光源 2 a を備えている。

## 【 0 0 2 1 】

光源 2 a から供給されたレーザ光は、ビームエキスパンダ 2 b を介して拡大された後、第 1 フライアイレンズ 2 c に入射する。こうして、第 1 フライアイレンズ 2 c の後側焦点面には複数の光源が形成され、これらの複数の光源からの光束は第 1 コンデンサー光学系 2 d を介して、第 2 フライアイレンズ 2 e の入射面を重疊的に照明する。その結果、第 2 フライアイレンズ 2 e の後側焦点面には、第 1 フライアイレンズ 2 c の後側焦点面よりも多くの複数の光源が形成される。第 2 フライアイレンズ 2 e の後側焦点面に形成された複数の光源からの光束は、第 2 コンデンサー光学系 2 f を介して、位相シフトマスク 1 を重疊的に照明する。

## 【 0 0 2 2 】

ここで、第1フライアイレンズ2cおよび第1コンデンサー光学系2dは第1ホモジナイザを構成し、この第1ホモジナイザにより位相シフトマスク1上での入射角度に関する均一化が図られる。また、第2フライアイレンズ2eおよび第2コンデンサー光学系2fは第2ホモジナイザを構成し、この第2ホモジナイザにより位相シフトマスク1上での面内位置に関する均一化が図られる。こうして、照明系2は、ほぼ均一な光強度分布を有する光を位相シフトマスク1に照射する。

## 【 0 0 2 3 】

位相シフトマスク1を介して位相変調されたレーザ光は、結像光学系3を介して、被処理基板4に照射される。ここで、結像光学系3は、位相シフトマスク1と被処理基板4とを光学的に共役に配置している。換言すれば、被処理基板4は、位相シフトマスク1と光学的に共役な面（結像光学系3の像面）に設定されている。結像光学系3は、その瞳面に配置された開口絞り3aを備えている。開口絞り3aは、開口部（光透過部）の大きさの異なる複数の開口絞りを有し、これらの複数の開口絞りは光路に対して交換可能に構成されている。

## 【 0 0 2 4 】

あるいは、開口絞り3aは、開口部の大きさを連続的に変化させることのできる虹彩絞りを有する。いずれにしても、開口絞り3aの開口部の大きさ（ひいては結像光学系3の像側開口数NA）は、被処理基板4の半導体膜上において所要の逆ピークパターンの光強度分布を発生させるように設定されている。なお、結像光学系3は、屈折型の光学系であってもよいし、反射型の光学系であってもよいし、屈折反射型の光学系であってもよい。

## 【 0 0 2 5 】

また、被処理基板4は、たとえば液晶ディスプレイ用板ガラスの上に化学気相成長法により下地膜および非晶質シリコン膜を形成することにより得られる。被処理基板4は、真空チャックや静電チャックなどにより基板ステージ5上において所定の位置に保持されている。

## 【 0 0 2 6 】

図 3 は、第 1 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成および作用を概略的に示す図である。図 3 (a) および (b) を参照すると、位相シフトマスク 1 の基本単位部分 (位相シフト基本パターン) 1 0 は、図中鉛直方向に沿って延びた境界領域 1 1 と、図中水平方向に沿って境界領域 1 1 の両側に配置された第 1 領域 1 2 および第 2 領域 1 3 とにより構成されている。ここで、第 1 領域 1 2 の透過光を基準として、第 2 領域 1 3 の透過光には 3 6 0 度の位相差が付与されるように構成されている。

#### 【 0 0 2 7 】

また、境界領域 1 1 は、第 1 領域 1 2 の位相 (0 度) から第 2 領域 1 3 の位相 (3 6 0 度) へ図中水平方向に沿って階段状に変化する位相分布を有する。さらに詳細には、境界領域 1 1 は、第 1 領域 1 2 側から順に、第 1 境界領域 1 1 a、第 2 境界領域 1 1 b、第 3 境界領域 1 1 c、第 4 境界領域 1 1 d、第 5 境界領域 1 1 e、第 6 境界領域 1 1 f、第 7 境界領域 1 1 g、第 8 境界領域 1 1 h、および第 9 境界領域 1 1 i により構成されている。

#### 【 0 0 2 8 】

ここで、第 1 領域 1 2 の透過光を基準として、第 1 境界領域 1 1 a ~ 第 9 境界領域 1 1 i の透過光には、それぞれ 3 0 度、6 0 度、9 0 度、1 3 5 度、1 8 0 度、2 2 5 度、2 7 0 度、3 0 0 度、および 3 3 0 度の位相差が付与されるように構成されている。上述の説明において、位相差は、位相が進む向きを正と定義している。具体的には、たとえば位相シフトマスク 1 が 2 4 8 n m の波長を有する光に対して 1. 5 の屈折率を有する石英ガラスで形成されている場合、第 1 領域 1 2 と第 2 領域 1 3 との間には 4 9 6 n m の段差が付与されている。

#### 【 0 0 2 9 】

そして、第 1 領域 1 2 と第 1 境界領域 1 1 a との間には約 4 1. 3 n m の段差が、第 1 境界領域 1 1 a と第 2 境界領域 1 1 b との間には約 4 1. 3 n m の段差が、第 2 境界領域 1 1 b と第 3 境界領域 1 1 c との間には約 4 1. 3 n m の段差が、第 3 境界領域 1 1 c と第 4 境界領域 1 1 d との間には 6 2 n m の段差が、第 4 境界領域 1 1 d と第 5 境界領域 1 1 e との間には 6 2 n m の段差が、第 5 境界領域 1 1 e と第 6 境界領域 1 1 f との間には 6 2 n m の段差が、第 6 境界領域 1

1 f と第 7 境界領域 1 1 g との間には 6 2 n m の段差が、第 7 境界領域 1 1 g と第 8 境界領域 1 1 h との間には約 4 1 . 3 n m の段差が、第 8 境界領域 1 1 h と第 9 境界領域 1 1 i との間には約 4 1 . 3 n m の段差が、第 9 境界領域 1 1 i と第 2 領域 1 3 との間には約 4 1 . 3 n m の段差が付与されている。

#### 【 0 0 3 0 】

この場合、後述するように、第 5 境界領域 1 1 e が線状に延びる位相シフト部を構成することになる。また、位相シフトマスク 1 は、基本単位部分 1 0 を一次元的に配置することにより構成されている。すなわち、位相シフトマスク 1 では、第 1 領域 1 2 と境界領域 1 1 と第 2 領域 1 3 とからなる位相シフト基本パターン 1 0 が、図中水平方向に沿って繰り返して形成されている。ただし、図示したものは、位相の傾きの正負が交互に繰り返されている。位相の傾きが正の部分も負の部分も同一の光強度分布を与える。また、位相シフトマスク 1 では、その位相シフトパターンが被処理基板 4 と対向する面に形成されている。

#### 【 0 0 3 1 】

第 1 実施形態において位相シフトマスク 1 を用いるとともに、結像光学系 3 の開口絞り 3 a の開口径を（ひいては像側開口数 N A を）所定の値に設定すると、被処理基板 4 上では、図 3（c）に示すように、位相シフト部としての第 5 境界領域 1 1 e に対応する線状領域において光強度が最も小さく且つこの線状領域と直交する方向に周囲に向かって一次的に光強度がほぼ単調に増加するような逆ピークパターンの光強度分布が形成される。以下、第 1 実施形態の位相シフトマスク 1 の作用、特に境界領域 1 1 の作用について簡単に説明する。

#### 【 0 0 3 2 】

一般に、連続的に変化する位相分布を有する位相シフトマスク領域を介した光束が結像光学系を介して被処理基板上に形成する光強度分布では、光強度は概ね位相変化の勾配に対応する。すなわち、位相変化の勾配の絶対値が小さいマスク領域に対応する基板領域の光強度は大きくなり、位相変化の勾配の絶対値が大きいマスク領域に対応する基板領域の光強度は小さくなる。

#### 【 0 0 3 3 】

これは、次の式（1）に示すように、像の複素振幅分布  $I(u, v)$  が、物体

の複素振幅分布  $O(u, v)$  と点像の複素振幅分布 (点像分布関数)  $ASF(u, v)$  とのたたみこみ積分で与えられることから理解できる。なお、式 (1) において、「 $\int$ 」は積分記号である。

$$I(u, v) = \int \int \{O(u', v') ASF(u-u', v-v')\} du' dv' \quad (1)$$

#### 【0034】

ただし、透過率分布が均一な通常の瞳関数を有する結像光学系を用いる場合、図 4 (a) に示すように、点像分布関数が周辺で負になるため (点像分布関数は瞳関数のフーリエ変換)、位相変化と光強度との関係が完全なものではなくなり、光強度分布に小さな波 (変動) が残ることになる。これに対し、透過率分布が中央よりも周辺において低い瞳関数、たとえば透過率分布がガウス型の瞳関数を有する結像光学系を用いる場合、図 4 (b) に示すように、点像分布関数の負の部分がなくなる。このことは、ガウス分布のフーリエ変換がガウス分布であることを考えると容易に理解できる。その結果、位相変化と光強度との関係がより完全になり、光強度分布から小さな波を除くことができる。

#### 【0035】

なお、上述の説明では、位相シフトマスクが連続的に変化する位相分布を有する場合を想定している。しかしながら、第 1 実施形態のように位相分布の変化を階段状に近似する場合であっても、境界領域 11 における各段差の幅  $D$  (図 3 (b) を参照) が結像光学系の解像度  $R (\equiv \lambda / NA)$  よりも小さければ、すなわち次の条件式 (2) が満たされれば、十分滑らかに変化する光強度分布を得ることができる。

$$D < \lambda / NA \quad (2)$$

#### 【0036】

図 5 は、第 1 実施形態の比較例として、従来のライン型の位相シフトマスクを用いたときに被処理基板上で得られる光強度分布を示す図である。第 1 実施形態の装置において従来のライン型の位相シフトマスクを用いて得られる逆ピークパターンの光強度分布は、図 5 に示すように、位相シフトマスクの位相シフト部 (たとえば 180 度の位相差が付与された 2 つの領域間の境界線) 20 に対応する位置において光強度がほぼ 0 で且つ周囲に向かって一次元的に光強度が増加する

特性を有する。

【0037】

図5を参照すると、互いに隣接する2つの位相シフト部20に対応して形成される2つの隣接した逆ピークパターン部の間の中間部における光強度分布は不規則なうねり（光強度の増大と減少とを繰り返すような波状分布）を伴っている。この場合、逆ピークパターン部の光強度分布において傾斜の大きい位置に結晶核21が発生することが望ましいが、中間部のうねりにおいて光強度の低い位置に（すなわち望まない位置に）結晶核22が発生することがある。

【0038】

また、望ましい位置に結晶核が発生したとしても、結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が、逆ピークパターン部と中間部との境界において光強度が減少する部分で停止してしまう。換言すれば、結晶核からのラテラル成長が逆ピークパターンの幅寸法Wの範囲に限定されるため、十分に大きな結晶の成長が妨げられる。ちなみに、第1実施形態の手法すなわち投影NA法では、逆ピークパターンの幅寸法Wは、結像光学系の解像度Rと同程度になる。

【0039】

結像光学系3の解像度Rは、使用光の波長を $\lambda$ とし、結像光学系3の像側開口数をNAとすると、 $R = k \lambda / NA$ で規定される。ここで、定数kは、位相シフトマスク1を照明する照明系2の仕様や、光源1から供給される光束のコヒーレンスの程度、解像度の定義にもよるが、ほぼ1に近い値である。こうして、投影NA法では、結像光学系3の像側開口数NAを小さくして、結像光学系3の解像を低下させると、逆ピークパターンの幅寸法が大きくなる。

【0040】

以上のように、ライン型の位相シフトマスクを用いる従来技術では、180度の位相差が付与された2つの領域間における干渉の結果、位相シフト部20に対応する位置において光強度がほぼ0になるとともに、逆ピークパターンの幅寸法Wは結像光学系の解像度Rによって規定されるが、中間部における光強度分布には不規則なうねりが発生してしまう。

【0041】



これに対し、第 1 実施形態の位相シフトマスク 1 では、360 度の位相差が付与された 2 つの領域、すなわち第 1 領域 1 2 と第 2 領域 1 3 との間に、第 1 領域 1 2 の位相 (0 度) から第 2 領域 1 3 の位相 (360 度) へ階段状に変化する位相分布を有する境界領域 1 1 が形成されている。したがって、被処理基板 4 上では、図 3 (c) に示すように、位相シフト部としての第 5 境界領域 1 1 e に対応する線状領域において光強度が最も小さく且つこの線状領域と直交する方向に周囲に向かって一次元的に光強度がほぼ単調に増加するような逆ピークパターンの光強度分布が形成される。

## 【 0 0 4 2 】

ここで、位相シフト部に対応して得られる最も小さい光強度の大きさ  $I_1$  は、位相変化の勾配と結像光学系 3 の像側開口数 NA とに依存する。また、逆ピークパターンの幅寸法 W は、境界領域 1 1 の幅寸法 W' に依存する。さらに、中間部における光強度の大きさ  $I_2$  は、照明系 2 から供給される照明光の光強度に依存する。すなわち、第 1 実施形態では、被処理基板 4 上で得られる逆ピークパターンの光強度分布の形態を全体的に制御することができ、中間部における光強度分布から不規則なうねりを除去することができる。

## 【 0 0 4 3 】

その結果、第 1 実施形態では、中間部において結晶核が発生することなく、逆ピークパターン部の光強度分布において傾斜の大きい位置 (すなわち所望の位置) に結晶核を発生させることができる。また、逆ピークパターン部と中間部との境界において光強度が減少する部分がなく、しかも中間部の中央に向かって僅かに光強度が単調増加しているので、結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が逆ピークパターンの幅寸法の範囲に限定されることがない。こうして、第 1 実施形態では、所望の位置に結晶核を発生させることができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

## 【 0 0 4 4 】

第 1 実施形態では、上述したように、十分滑らかに変化する光強度分布を得るために、境界領域 1 1 は各段差の幅 D が条件式 (2) を満たすように形成される

ことが好ましい。また、第 1 実施形態では、上述したように、光強度分布に小さな波（変動）が実質的に残存しないように、透過率分布が中央よりも周辺において低い瞳関数、たとえば透過率分布がガウス型の瞳関数を有する結像光学系を用いることが好ましい。具体的には、図 1 に示すように、結像光学系 3 の瞳面またはその近傍に、所望の瞳関数に対応する透過率分布を有する透過フィルター 3 b を配置することが好ましい。

## 【 0 0 4 5 】

なお、第 1 実施形態では、第 1 領域 1 2 および第 2 領域 1 3 が平面状に形成され、境界領域 1 1 が階段状に変化する位相分布を有する。しかしながら、これに限定されることなく、一般的には、第 1 領域 1 2 の位相から第 2 領域 1 3 の位相へ連続的にあるいは不連続的に変化する位相分布を有することが必要である。具体的には、境界領域 1 1 が、線形的または曲線的に変化する位相分布を有する変形例も可能である。また、第 1 領域 1 2 および第 2 領域 1 3 が必要に応じて僅かに曲面状に形成された変形例も可能である。

## 【 0 0 4 6 】

また、第 1 実施形態では、第 1 領域 1 2 と第 2 領域 1 3 との間に、360 度の位相差を付与している。しかしながら、これに限定されることなく、所望の光強度分布の形態に応じて、たとえば 180 度のような適当な位相差を、第 1 領域 1 2 と第 2 領域 1 3 との間に付与することもできる。

## 【 0 0 4 7 】

図 6 は、本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。また、図 7 は、第 2 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成および作用を概略的に示す図である。第 2 実施形態は、第 1 実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第 2 実施形態の位相シフトマスク 6 の構成だけが、第 1 実施形態の位相シフトマスク 1 の構成と僅かに相違している。以下、第 1 実施形態との相違点に着目して、第 2 実施形態を説明する。

## 【 0 0 4 8 】

図 7 (a) を参照すると、位相シフトマスク 6 の基本単位部分（位相シフト基本パターン）16 は、第 1 実施形態における位相シフトマスク 1 の基本単位部分

1 0と同様に、境界領域 1 1と第 1 領域 1 2と第 2 領域 1 3とにより構成されている。しかしながら、第 2 実施形態の境界領域 1 1には、第 1 実施形態とは異なり、第 5 境界領域 1 1 eを中心として、円形状の微小領域 1 4が形成されている。ここで、微小領域 1 4の透過光と第 5 境界領域 1 1 eの透過光との間には、第 2 の位相差として 1 8 0 度の位相差が付与されるように構成されている。

#### 【 0 0 4 9 】

具体的には、たとえば位相シフトマスク 6 が 2 4 8 n m の波長を有する光に対して 1 . 5 の屈折率を有する石英ガラスで形成されている場合、微小領域 1 4 と第 5 境界領域 1 1 e との間には 2 4 8 n m の段差が付与されている。したがって、微小領域 1 4 は、第 1 領域 1 2 と同じ高さ位置、または第 2 領域 1 3 と同じ高さ位置を有することになる。この場合、位相シフトマスク 6 では、後述するように、微小領域 1 4 が位相シフト部を構成することになる。なお、位相シフト部を構成する微小領域 1 4 は、必要に応じて二次元的に配置されている。

#### 【 0 0 5 0 】

以上のように、第 2 実施形態の位相シフトマスク 6 では、第 1 実施形態の変形ライン型の位相シフトパターンと、いわゆるサーキュラー型の位相シフトパターンとを組み合わせた位相シフトパターンが、被処理基板 4 と対向する面に形成されている。以下、第 2 実施形態における位相シフトマスク 6 の作用の説明に先立って、ライン型の位相シフトマスクの作用およびサーキュラー型の位相シフトマスクの作用についてそれぞれ説明する。

#### 【 0 0 5 1 】

図 8 は、ライン型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。第 2 実施形態においてライン型の位相シフトマスクを用いた場合、図 8 ( a ) に示すように、たとえば 1 8 0 度の位相差を有する 2 つの領域 3 1 a と 3 1 b との間の直線状の境界線 3 1 c が位相シフト部を構成することになる。したがって、被処理基板 4 上では、図 8 ( b ) に示すように、位相シフト部（境界線）に対応する線 3 2 上において光強度がほぼ 0 で且つ線 3 2 と直交する方向に周囲に向かって一次的に光強度が増加するような逆ピークパターンの光強度分布が形成される。

#### 【 0 0 5 2 】

この場合、図 8 (c) に示すように、位相シフト部に対応する線 3 2 に沿って温度分布が最も低くなるとともに、位相シフト部に対応する線 3 2 と直交する方向に沿って温度勾配（図中矢印で示す）が発生する。すなわち、図 8 (d) に示すように、位相シフト部に対応する線 3 2 上で結晶核 3 3 が発生し、その結晶核 3 3 から位相シフト部に対応する線 3 2 と直交する方向に沿って結晶化が進行する。

## 【 0 0 5 3 】

なお、図 8 (d) において、曲線 3 4 は結晶の粒界を示しており、これらの結晶粒界 3 4 によって規定された領域に結晶が形成される。その結果、結晶核 3 3 は位相シフト部に対応する線 3 2 上に発生するものの、線 3 2 上のどこに結晶核 3 3 が発生するかは不定である。換言すると、第 2 実施形態においてライン型の位相シフトマスクを用いた場合、結晶核 3 3 の発生位置を制御することは不可能であり、ひいては結晶の形成領域を二次元的に制御することは不可能である。具体的には、結晶の形成領域が T F T のチャンネルを形成したい領域 3 5 を含むように制御することは不可能である。

## 【 0 0 5 4 】

図 9 は、サーキュラー型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。第 2 実施形態においてサーキュラー型の位相シフトマスクを用いた場合、図 9 (a) に示すように、矩形状の領域 4 1 a に対して例えば位相が進む向きに例えば 1 8 0 度の位相差を有する円形状の微小な領域 4 1 b が位相シフト部を構成することになる。したがって、被処理基板 4 上では、図 9 (b) に示すように、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 において光強度がほぼ 0 で且つ微小領域 4 2 から周囲に向かって放射状に光強度が増加するような逆ピークパターンの光強度分布が形成される。

## 【 0 0 5 5 】

この場合、図 9 (c) に示すように、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 において温度分布が最も低くなるとともに、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 から周囲に向かって放射状に温度勾配（図中矢印で示す）が発生する。すなわち、図 9 (d) に示すように、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 またはその近

傍において複数の結晶核 4 3（図 9（d）では図面の明瞭化のために 1 つの結晶核だけを図示している）が発生し、複数の結晶核 4 3 から周囲に向かって放射状に結晶化が進行する。

## 【 0 0 5 6 】

このように、第 2 実施形態においてサーキュラー型の位相シフトマスクを用いた場合、位相シフト部に対応する微小領域 4 2 またはその近傍において複数の結晶核 4 3 が発生するので、結晶核 4 3 の発生位置を制御することは可能である。しかしながら、複数の結晶核 4 3 からの結晶の成長が放射状に且つ同時に進行するので、結晶粒界 4 4 の形成位置が不定であり、ひいては結晶の形成領域を二次元的に制御することは不可能である。具体的には、結晶の形成領域が T F T のチャネルを形成したい領域 4 5 を含むように制御することは不可能である。

## 【 0 0 5 7 】

なお、ライン型の位相シフトマスクおよびサーキュラー型の位相シフトマスクのさらに詳細な構成や作用については、「"Optimization of phase-modulated excimer-laser annealing method for growing highly-packed large-grains in Si thin-films", Applied Surface Science 154-155 (2000) 105-111」を参照することができる。

## 【 0 0 5 8 】

第 2 実施形態の位相シフトマスク 6 は、上述したように、第 1 実施形態における変形ライン型の位相シフトパターンとサーキュラー型の位相シフトパターンとを組み合わせた位相シフトパターンを有する。このため、位相シフトマスク 6 において円形状の微小領域 1 4 を横断しない A 断面に対応する被処理基板 4 上の A' 断面では、図 7（b）に示すように、第 1 実施形態と同様な光強度分布が得られる。換言すれば、図 7（b）に示す光強度分布は、第 1 実施形態において図 3（c）に示す光強度分布に対応している。

## 【 0 0 5 9 】

一方、円形状の微小領域 1 4 を横断する B 断面に対応する被処理基板 4 上の B' 断面では、図 7（c）に示すように、境界領域 1 1 の作用により形成される図 7（b）に示すような光強度分布と、円形状の微小領域 1 4 の作用により形成さ

れる図 9 (b) に示すような光強度分布とによって規定される 2 段逆ピークパターンの光強度分布が形成される。すなわち、被処理基板 4 上の B' 断面では、位相シフトマスク 6 において位相シフト部を構成する円形状の微小領域 1 4 に対応する領域において光強度がほぼ 0 で、位相変化の方向（図中水平方向）に沿って周辺に向かって光強度が急激に増大した後に緩やかに且つ単調に増大して一定値に達するような光強度分布が得られる。

## 【 0 0 6 0 】

図 1 0 は、第 2 実施形態の位相シフトマスクの作用効果を説明する図である。なお、図 1 0 において、円形状領域 5 1 は円形状の微小領域 1 4 に対応する被処理基板 4 上の領域を示し、破線 5 2 は第 5 境界領域 1 1 e に対応する被処理基板 4 上の線状領域を示している。第 2 実施形態では、図 1 0 (a) に示すように、円形状の微小領域 1 4 に対応する円形状領域 5 1 において温度分布が最も低くなるとともに、線状領域 5 2 と直交する方向（位相変化の方向：図中水平方向）に沿って温度勾配が発生する。すなわち、図 1 0 (b) に示すように、位相シフト部に対応する円形状領域 5 1 またはその近傍において結晶核 5 3 が発生し、その結晶核 5 3 から位相変化の方向に沿って結晶化が進行する。

## 【 0 0 6 1 】

その結果、結晶核 5 3 の発生位置が円形状領域 5 1 またはその近傍に制限されるとともに、結晶核 5 3 からの結晶の成長方向が位相変化の方向に一次元的に制限されるので、結晶粒界 5 4 の形成位置がほぼ制御される。換言すれば、第 2 実施形態では、結晶核 5 3 の位置を制御することができ、ひいては結晶粒界 5 4 の形成位置をほぼ制御することにより、結晶粒界 5 4 に規定される結晶 5 5 の形成領域を二次元的にほぼ制御することができる。具体的には、結晶 5 5 の形成領域が T F T のチャネルを形成したい領域 5 6 を含むように制御することができる。

## 【 0 0 6 2 】

第 2 実施形態では、図 7 (b) および (c) に示す A' 断面に沿った光強度分布および B' 断面に沿った光強度分布を、特定の数値例にしたがうシミュレーションにより実際に求めている。この数値例において、光の波長  $\lambda$  を 248 nm とし、結像光学系 3 の像側開口数 NA を 0.13 と想定している。また、境界領域

1 1における各段差の幅寸法Dを0. 5  $\mu$  m (すなわち境界領域1 1の幅寸法W' を4. 5  $\mu$  m) とし、第1領域1 2および第2領域1 3の幅寸法をともに3  $\mu$  mと想定している。

#### 【0 0 6 3】

さらに、微小領域1 4を一辺が1  $\mu$  mの正形状に想定している。また、結像光学系3は、透過率分布がガンマ2. 0のガウス型の瞳関数を有するものと想定している。図1 1は、数値例において得られたA' 断面に沿った光強度分布およびB' 断面に沿った光強度分布を示す図である。図1 1 (a) および (b) を参照すると、図7 (b) および (c) において模式的に示すA' 断面に沿った光強度分布およびB' 断面に沿った光強度分布にほぼ対応する形態の光強度分布が得られることをシミュレーション結果により確認することができる。

#### 【0 0 6 4】

以上のように、第2実施形態では、結晶核の位置を制御して結晶の形成領域を二次元的にほぼ制御することができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。特に、生成された大粒径の結晶では、ラテラル成長の方向に高い電子移動度を有するので、ラテラル成長の方向にトランジスタのソースドレインを配置することにより、良好な特性のトランジスタを製造することができる。

#### 【0 0 6 5】

なお、第2実施形態では、次の条件式(3)を満足することが望ましい。

$$a \leq \lambda / NA \quad (3)$$

ここで、NAは結像光学系3の像側開口数であり、 $\lambda$ は光の波長であり、aは円形状の微小領域1 4の半径(一般的には微小領域に外接する円の半径)である。

#### 【0 0 6 6】

条件式(3)の右辺は、上述したように、結像光学系3の解像度Rを表わしている。したがって、条件式(3)を満足すると、微小領域1 4の寸法が解像度以下になり、位相シフト部としての円形状の微小領域1 4に対応する被処理基板4上の領域5 1において光強度がほぼ0の領域の形状が中空のリング状(円環状)

ではなく中実の円形状になる。換言すれば、条件式(3)を満たさない場合、被処理基板4上の領域51において光強度がほぼ0の領域の形状がリング状になり、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。

## 【0067】

具体的には、結像光学系3の像側開口数NAが大きくなりすぎると、2つの逆ピークパターンが並列的に形成され、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。一方、結像光学系3の像側開口数NAが小さくなりすぎると、逆ピークパターンの光強度分布において最も低い光強度の値が0よりも実質的に大きくなり、所望の逆ピークパターンの光強度分布を得ることができなくなる。

## 【0068】

また、第2実施形態では、位相シフト部としての円形状の微小領域14に対応する被処理基板4上の線状領域52に関して対称な光強度分布を得るために、微小領域14は境界領域11において光強度の最も小さい領域に対応する位置(第5境界領域11eの位置)に形成されていることが好ましい。なお、第2実施形態では、微小領域14が円形状に形成されているが、シミュレーションにおいて正形状の微小領域を用いているように、微小領域の形状は任意である。

## 【0069】

また、上述の第2実施形態では、位相シフトマスク6において微小領域14の透過光と第5境界領域11eの透過光との間に第2の位相差として180度の位相差を付与しているが、これに限定されることなく、他の適当な位相差を第2の位相差として設定することもできる。ただし、第2の位相差を180度に設定することにより、位相シフト部としての微小領域14に対応する被処理基板4上の領域51における光強度をほぼ0に抑えることができる。

## 【0070】

さらに、上述の各実施形態では、透過率分布が中央よりも周辺において低い瞳関数、たとえば透過率分布がガウス型の瞳関数を実現するために、結像光学系3の瞳面またはその近傍に所望の瞳関数に対応する透過率分布を有する透過フィルター3bを配置している。しかしながら、これに限定されることなく、透過フィ



ルター 3 b に代えて、所望の瞳関数に対応する開口率を有する開口フィルターを配置することもできる。

#### 【 0 0 7 1 】

図 1 2 は、所望の瞳関数に対応する開口率を有する開口フィルターの構成例を示す図である。図 1 2 を参照すると、開口フィルター 3 d では、その中央に最も大きな円形状の第 1 開口部が 1 個形成され、この第 1 開口部の周辺に中程度の大きさの円形状の第 2 開口部が 6 個形成され、これらの第 2 開口部の周辺に最も小さな円形状の第 3 開口部が 1 6 個形成されている。

#### 【 0 0 7 2 】

こうして、開口フィルター 3 d の作用により、透過率分布が中央よりも周辺において低い瞳関数、たとえば透過率分布がガウス型の瞳関数を実現することができる。なお、透過フィルター 3 b では光が光学部材を透過するため収差が発生し易いが、開口フィルター 3 d では光が光学部材を透過することなく通過するので収差が発生することなく、結像光学系 3 の光学性能の悪化を回避することができる。

#### 【 0 0 7 3 】

なお、上述の各実施形態において、光強度分布は設計の段階でも計算できるが、実際の被処理面（被露光面）での光強度分布を観察して確認しておくことが望ましい。そのためには、被処理面を光学系で拡大し、CCD などの撮像素子で入力すれば良い。使用光が紫外線の場合は、光学系が制約を受けるため、被処理面に蛍光板を設けて可視光に変換しても良い。

#### 【 0 0 7 4 】

図 1 3 は、各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。図 1 3 (a) に示すように、絶縁基板 8 0（例えば、アルカリガラス、石英ガラス、プラスチック、ポリイミドなど）の上に、下地膜 8 1（例えば、膜厚 5 0 n m の  $\text{SiN}$  および膜厚 1 0 0 n m の  $\text{SiO}_2$  積層膜など）および非晶質半導体膜 8 2（例えば、膜厚 5 0 n m ～ 2 0 0 n m 程度の  $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$ 、 $\text{SiGe}$  など）を、化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜することにより、被処理基板 4 を準備する。そして、各実施形態の結晶化装置を用いて、

非晶質半導体膜 8 2 の表面の一部もしくは全部に、レーザ光 8 3（例えば、K r F エキシマレーザ光や X e C l エキシマレーザ光など）を照射する。

#### 【 0 0 7 5 】

こうして、図 1 3（b）に示すように、大粒径の結晶を有する多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 8 4 が生成される。次に、図 1 3（c）に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 8 4 を島状の半導体膜 8 5 に加工し、ゲート絶縁膜 8 6 として膜厚 2 0 n m ～ 1 0 0 n m の S i O<sub>2</sub> 膜を化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜する。さらに、図 1 3（d）に示すように、ゲート電極 8 7（例えば、シリサイドや M o W など）を形成し、ゲート電極 8 7 をマスクにして不純物イオン 8 8（N チャネルトランジスタの場合にはリン、P チャネルトランジスタの場合にはホウ素）を注入する。その後、窒素雰囲気アニール処理（例えば、4 5 0 ° C で 1 時間）を行い、不純物を活性化する。

#### 【 0 0 7 6 】

次に、図 1 3（e）に示すように、層間絶縁膜 8 9 を成膜してコンタクト穴をあけ、チャンネル 9 0 でつながるソース 9 1 およびドレイン 9 2 に接続するソース電極 9 3 およびドレイン電極 9 4 を形成する。このとき、図 1 3（a）および（b）に示す工程において生成された多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 8 4 の大粒径結晶の位置に合わせて、チャンネル 9 0 を形成する。以上の工程により、多結晶トランジスタまたは単結晶化半導体トランジスタを形成することができる。こうして製造された多結晶トランジスタまたは単結晶化トランジスタは、液晶ディスプレイや E L（エレクトロルミネッセンス）ディスプレイなどの駆動回路や、メモリ（S R A M や D R A M）や C P U などの集積回路などに適用可能である。

#### 【 0 0 7 7 】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、位相シフトマスクが境界領域とその両側に配置されて位相差を有する第 1 領域および第 2 領域とを有し、境界領域は第 1 領域の位相から第 2 領域の位相へ変化する位相分布を有するので、被処理基板上で

得られる逆ピークパターンの光強度分布の形態を全体的に制御することができ、中間部における光強度分布から不規則なうねりを除去することができる。その結果、本発明では、所望の位置に結晶核を発生させることができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

#### 【 0 0 7 8 】

また、本発明では、位相シフトマスクの境界領域に所定形状の微小領域を形成し、この微小領域の周辺領域と微小領域との間に所定の位相差を付与することにより、結晶核の発生位置が位相シフトマスクの位相シフト部としての微小領域に対応する領域に制限されるとともに、結晶核からの結晶の成長方向を位相変化の方向に一次元的に制限されるので、結晶粒界の形成位置がほぼ制御される。換言すれば、本発明では、結晶核の位置を制御して結晶の形成領域を二次元的にほぼ制御することができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の第 1 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

##### 【図 2】

図 1 の照明系の内部構成を概略的に示す図である。

##### 【図 3】

第 1 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成および作用を概略的に示す図である。

##### 【図 4】

結像光学系の瞳関数と点像分布関数との関係を模式的に示す図である。

##### 【図 5】

第 1 実施形態の比較例として、従来のライン型の位相シフトマスクを用いたときに被処理基板上で得られる光強度分布を示す図である。

##### 【図 6】

本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 7】

第 2 実施形態における位相シフトマスクの基本単位部分の構成および作用を概略的に示す図である。

【図 8】

ライン型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。

【図 9】

サーキュラー型の位相シフトマスクの作用を説明する図である。

【図 1 0】

第 2 実施形態の位相シフトマスクの作用効果を説明する図である。

【図 1 1】

数値例において得られた A' 断面に沿った光強度分布および B' 断面に沿った光強度分布を示す図である。

【図 1 2】

所望の瞳関数に対応する開口率を有する開口フィルターの構成例を示す図である。

【図 1 3】

各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。

【符号の説明】

- 1, 6 位相シフトマスク
- 2 照明系
  - 2 a K r F エキシマレーザ光源
  - 2 b ビームエキスパンダ
  - 2 c, 2 e フライアイレンズ
  - 2 d, 2 f コンデンサー光学系
- 3 結像光学系
  - 3 a 開口絞り
  - 3 b 透過フィルター
- 4 被処理基板

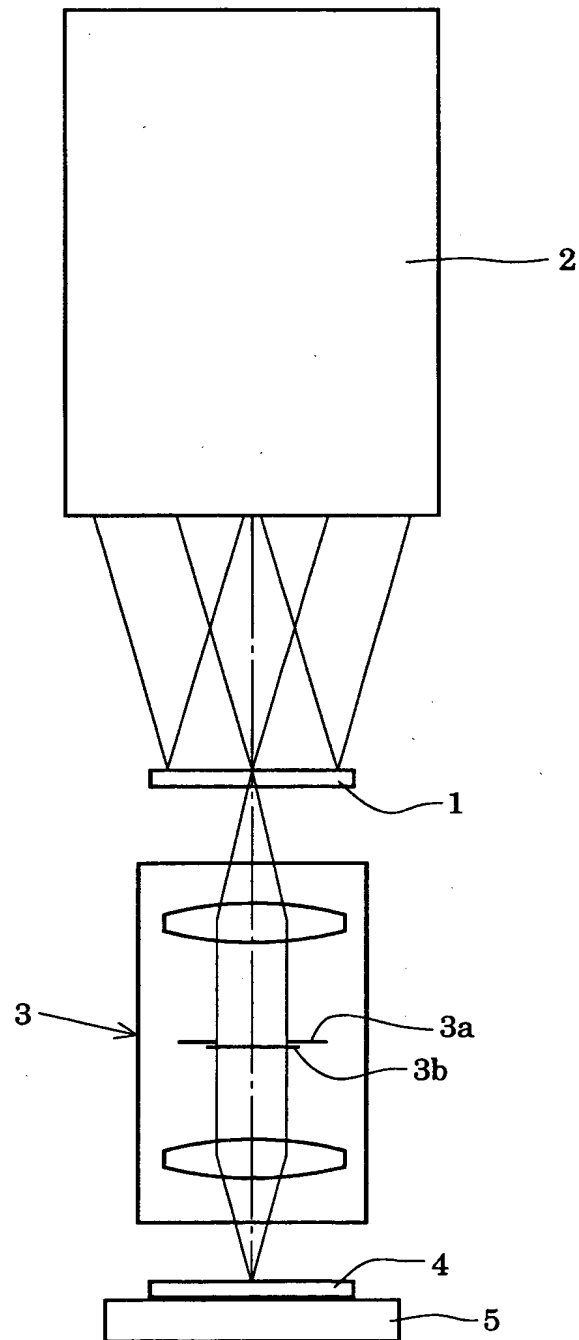
5 基板ステージ

1 0, 1 6 位相シフトマスクの基本単位部分

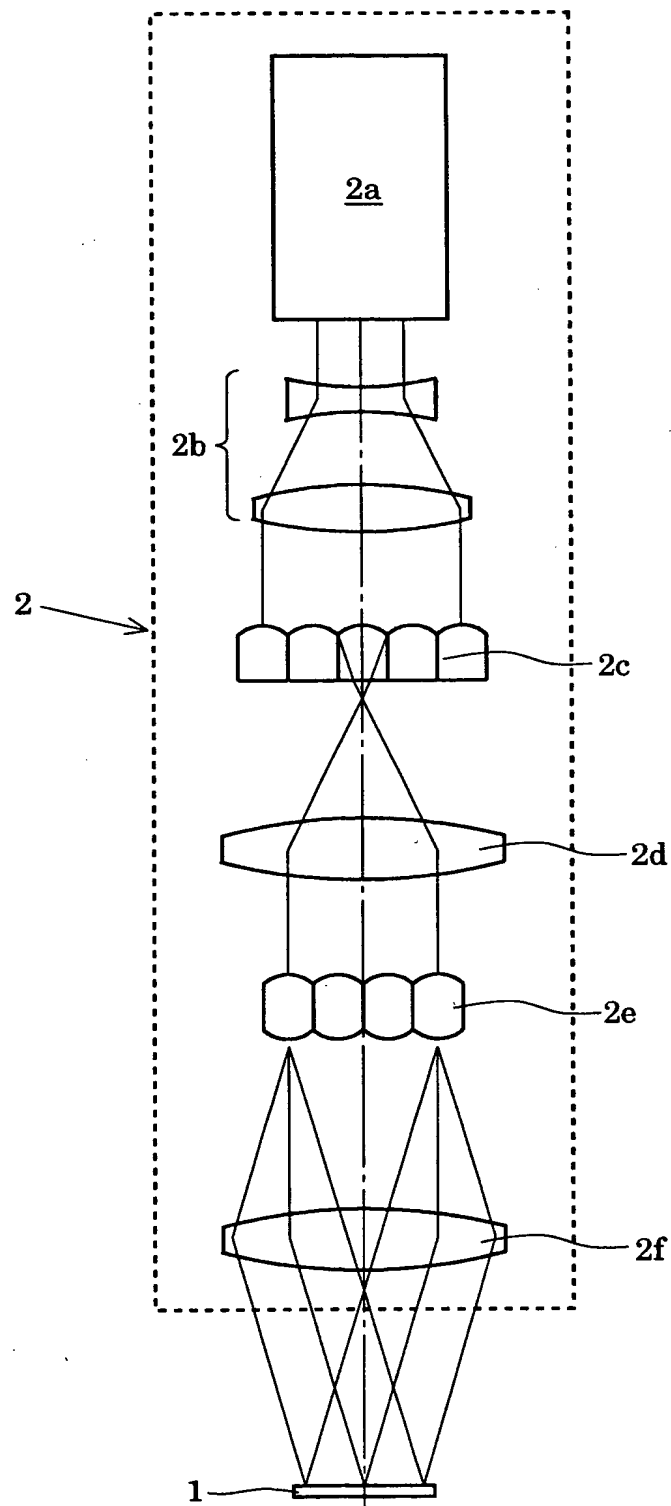
【書類名】

図面

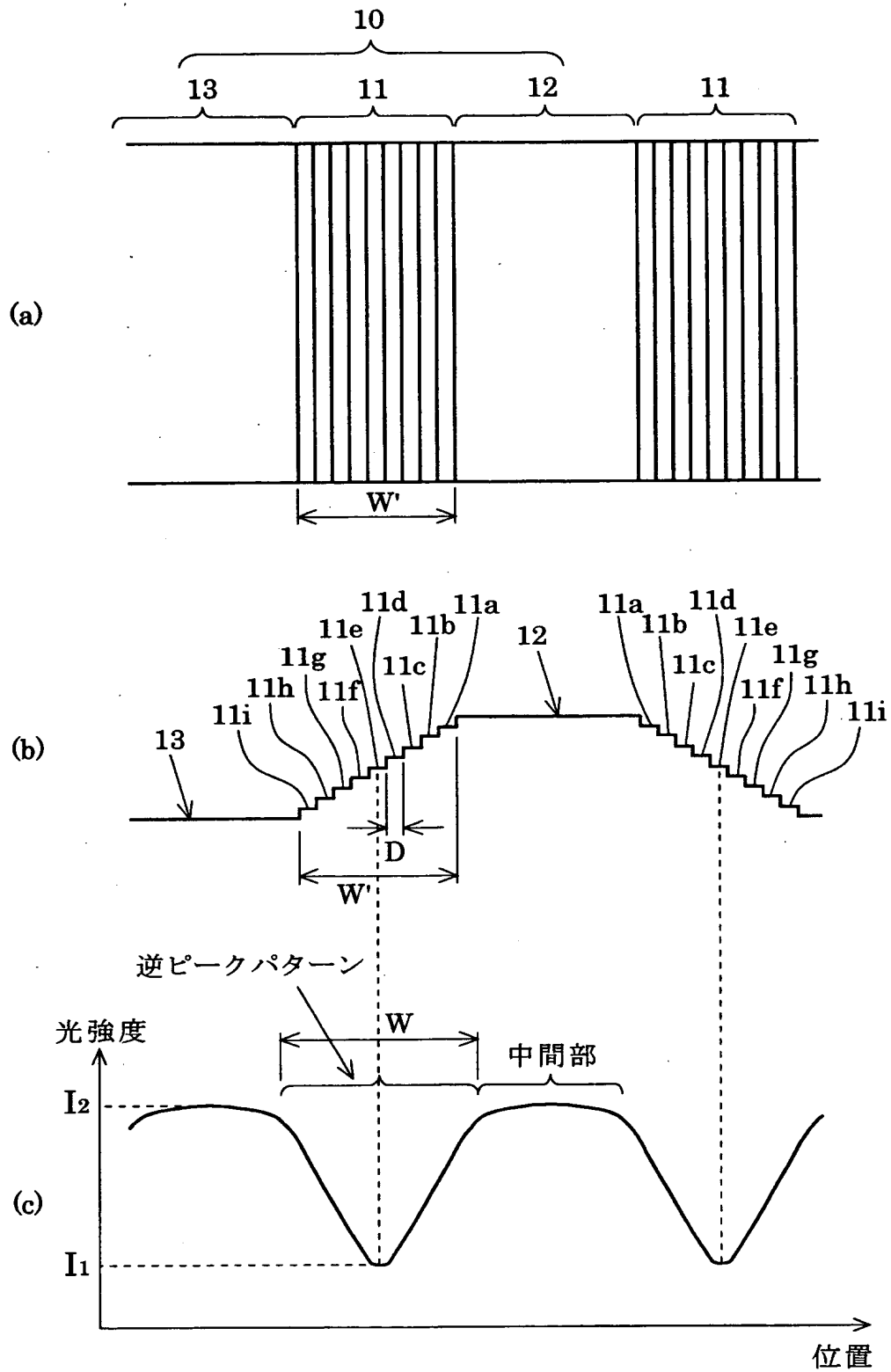
【図 1】



【図 2】

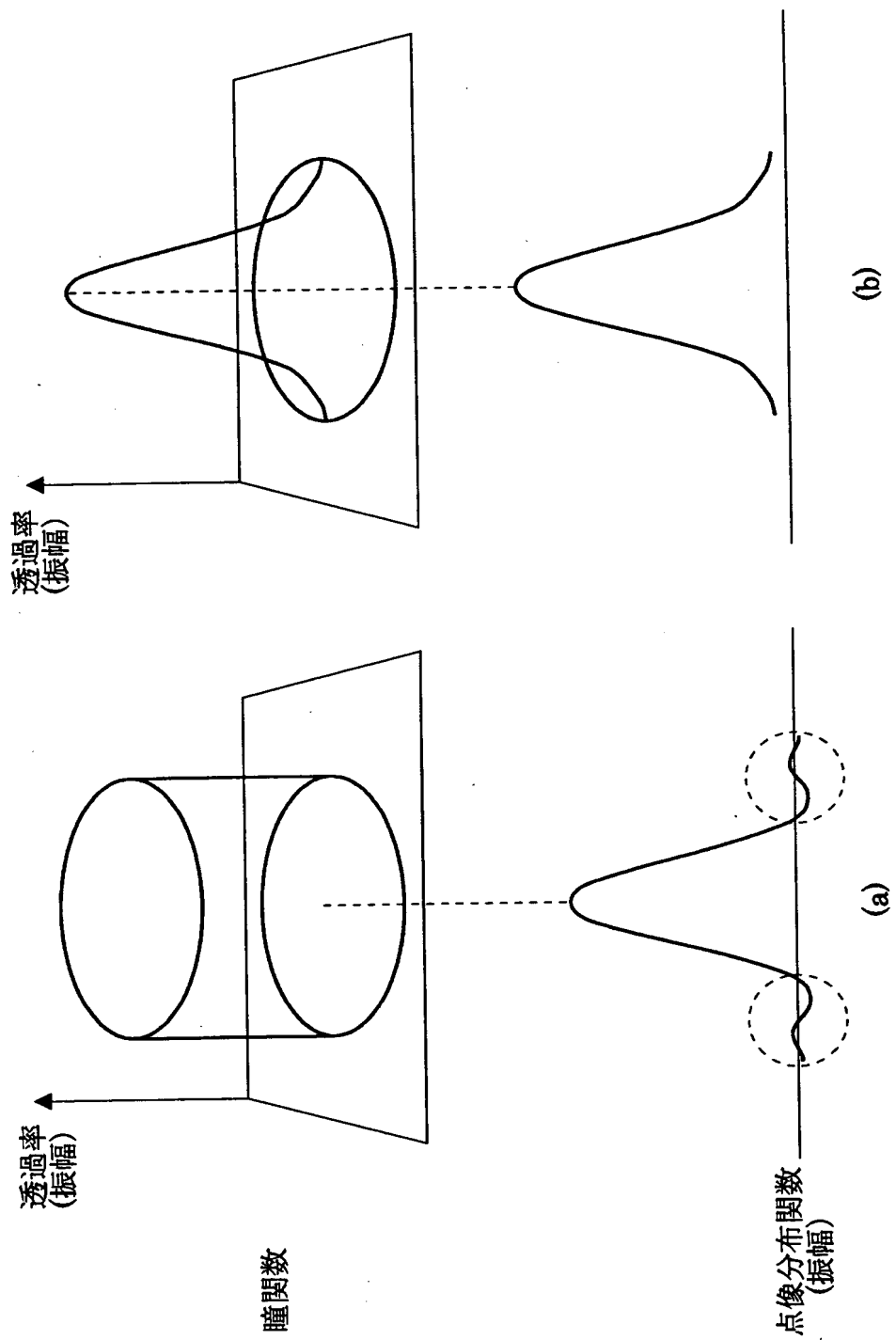


【図 3】

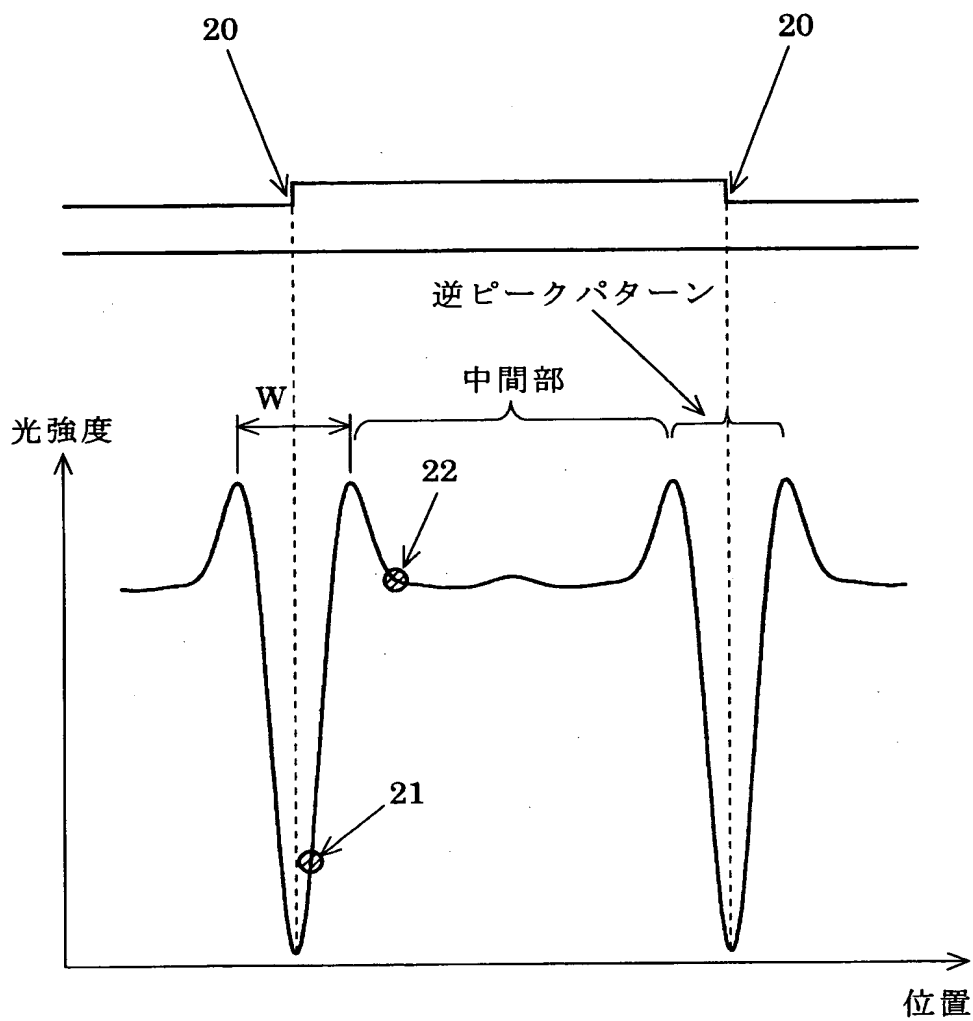




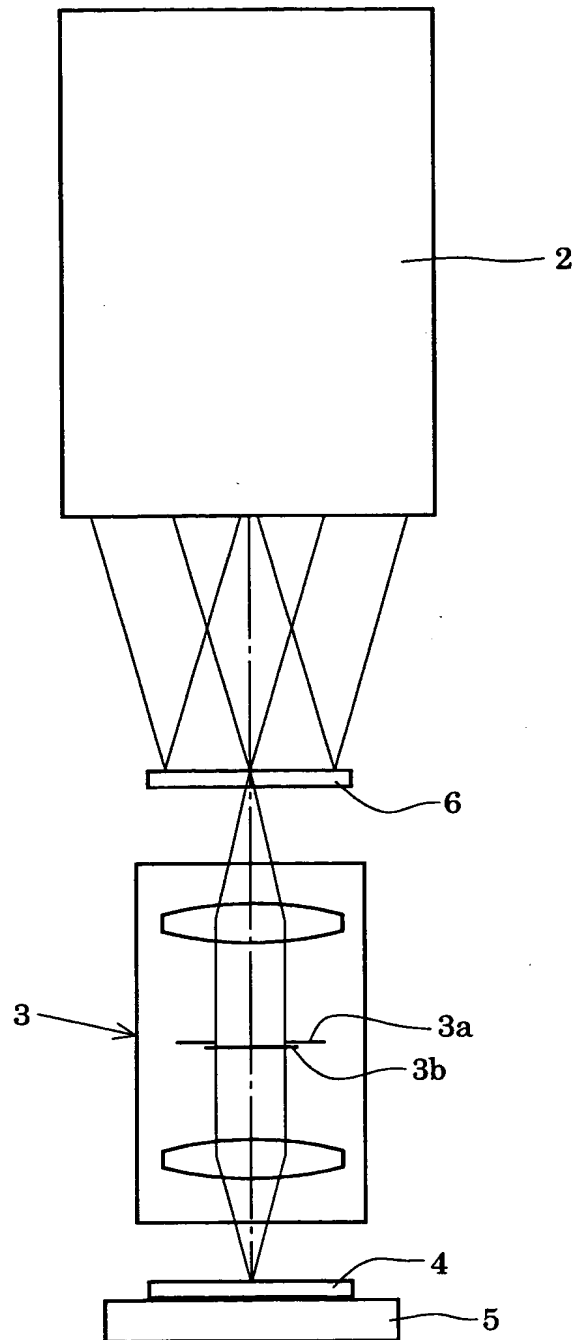
【図 4】



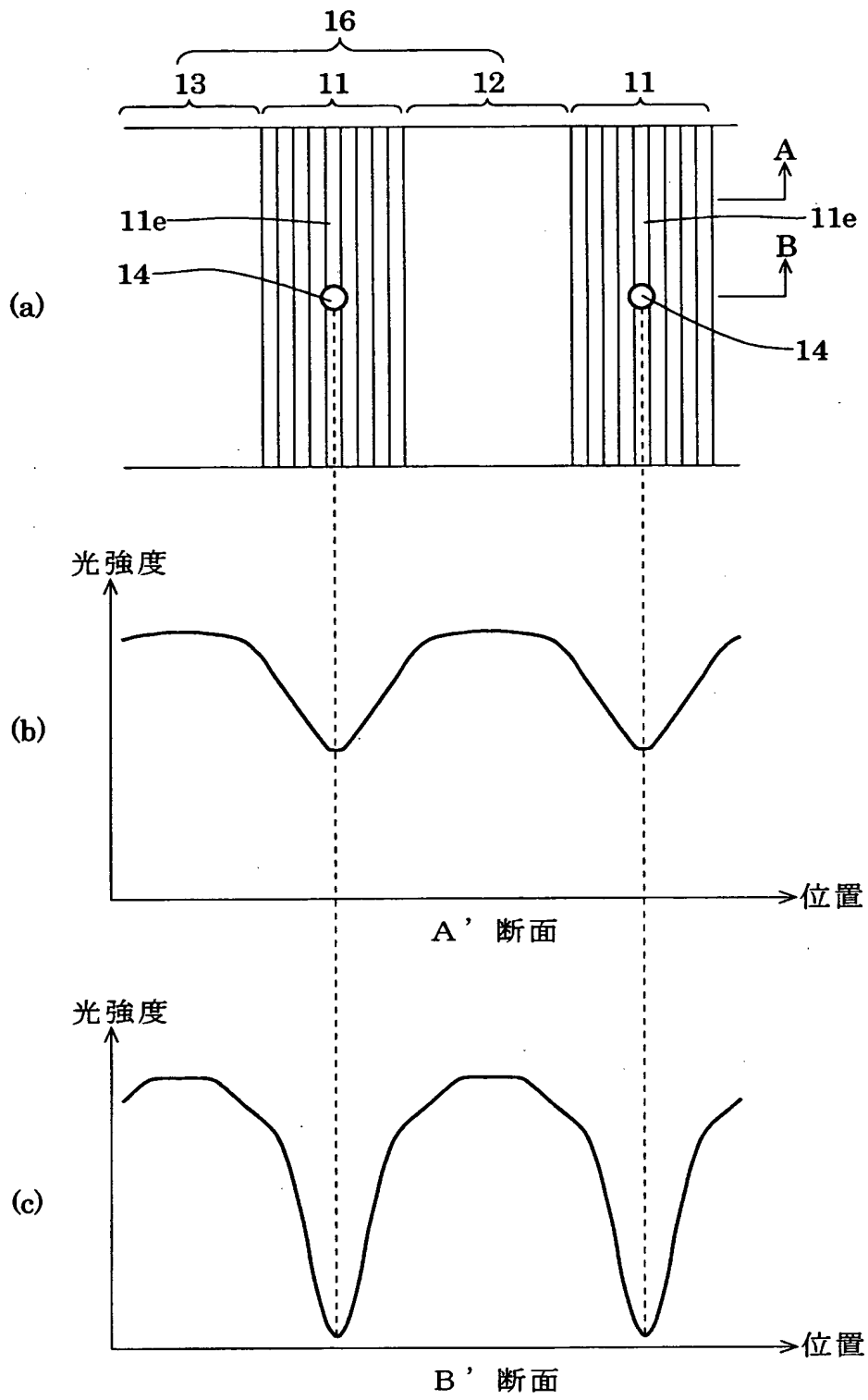
【図 5】



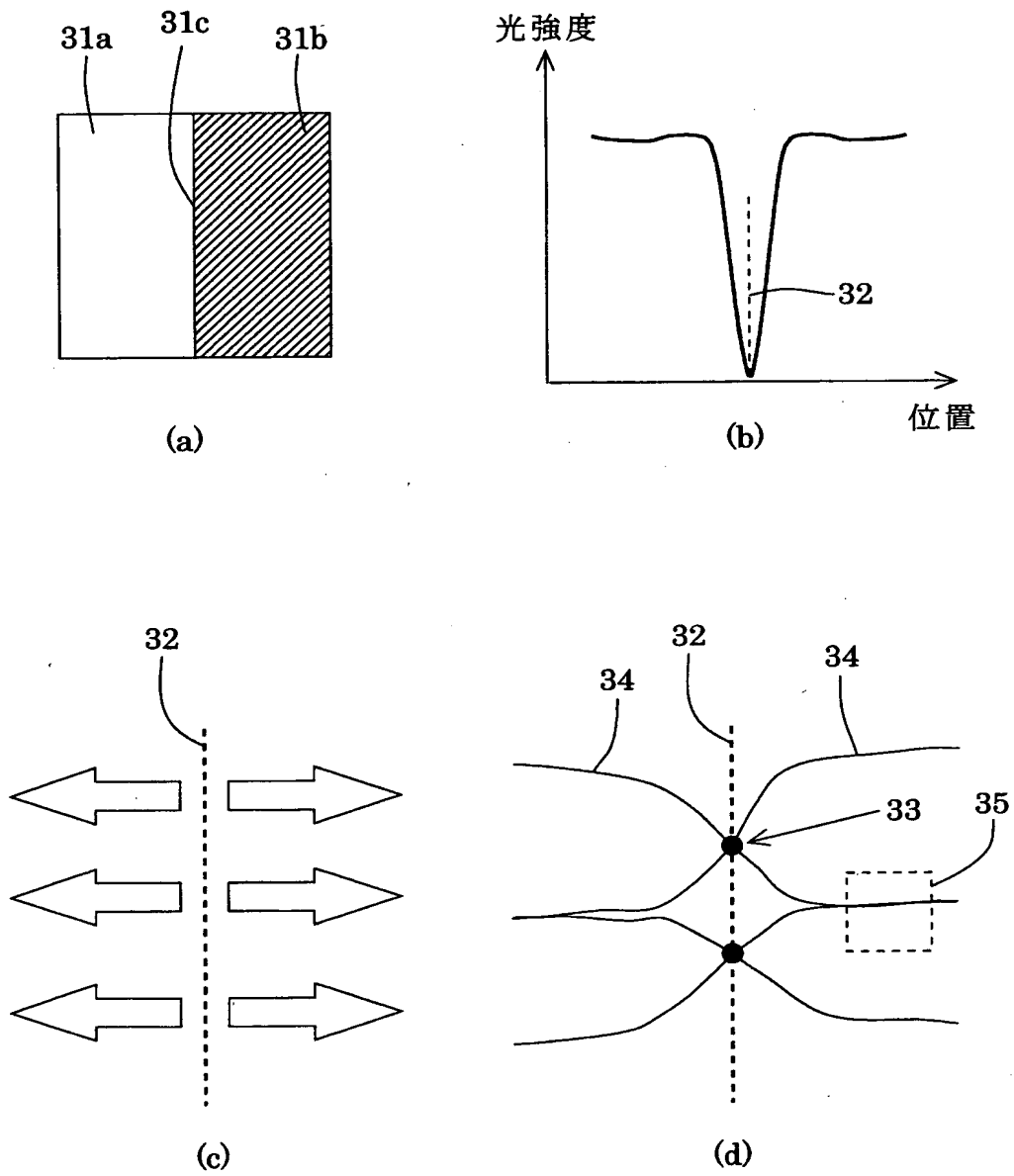
【図 6】



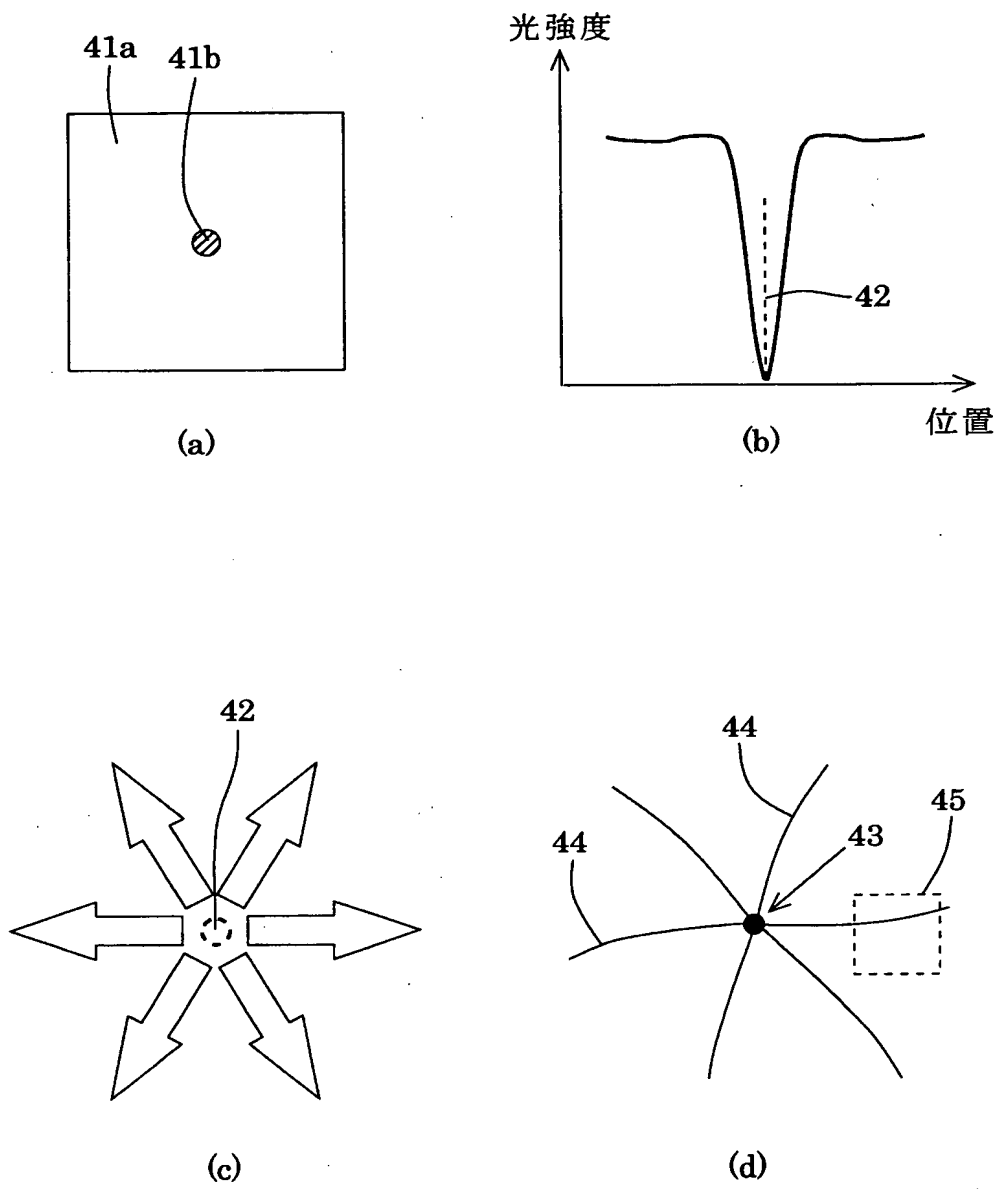
【図 7】



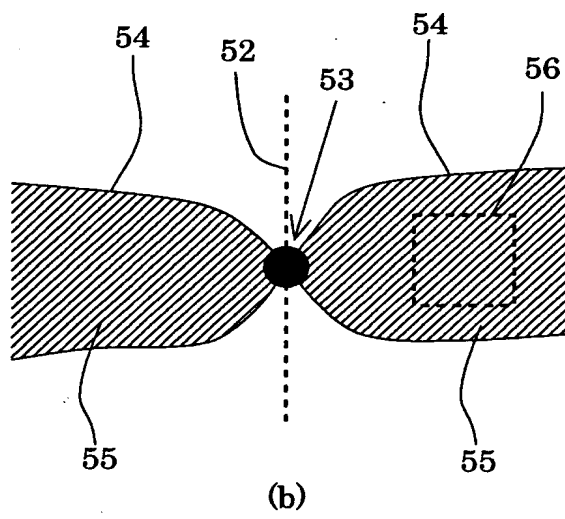
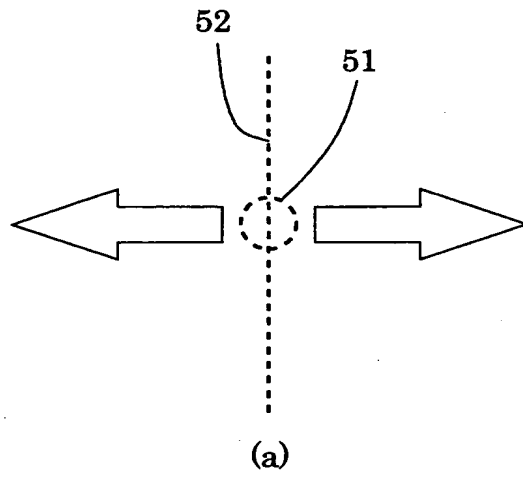
【図 8】



【図 9】

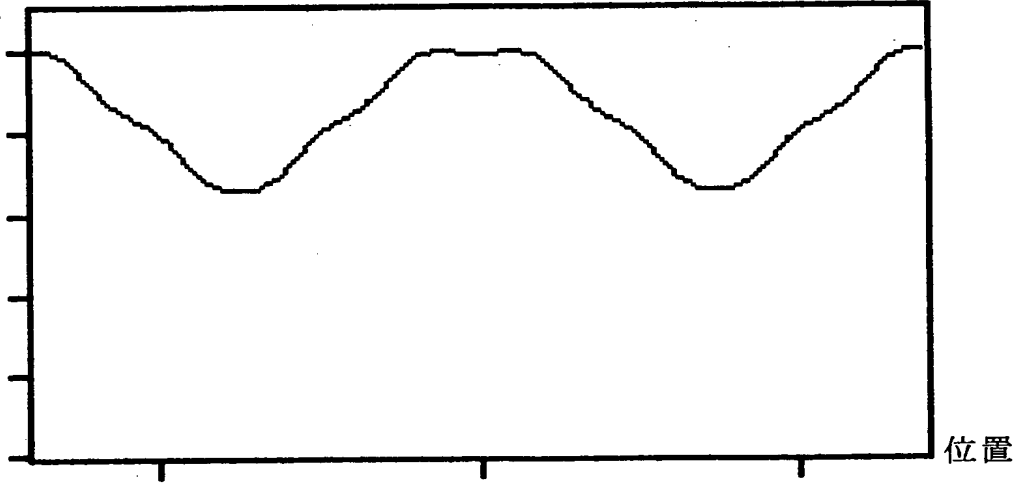


【図 1 0】



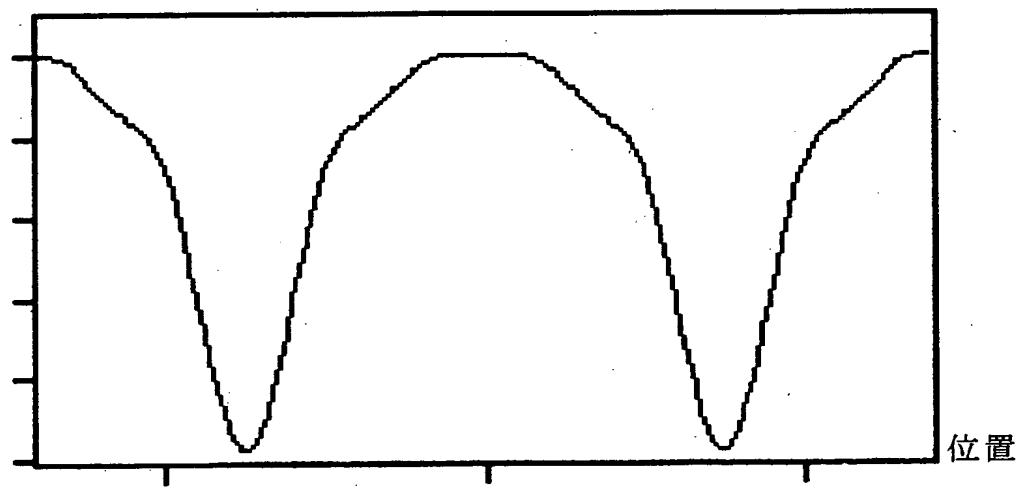
【図 1 1】

光強度



(a)

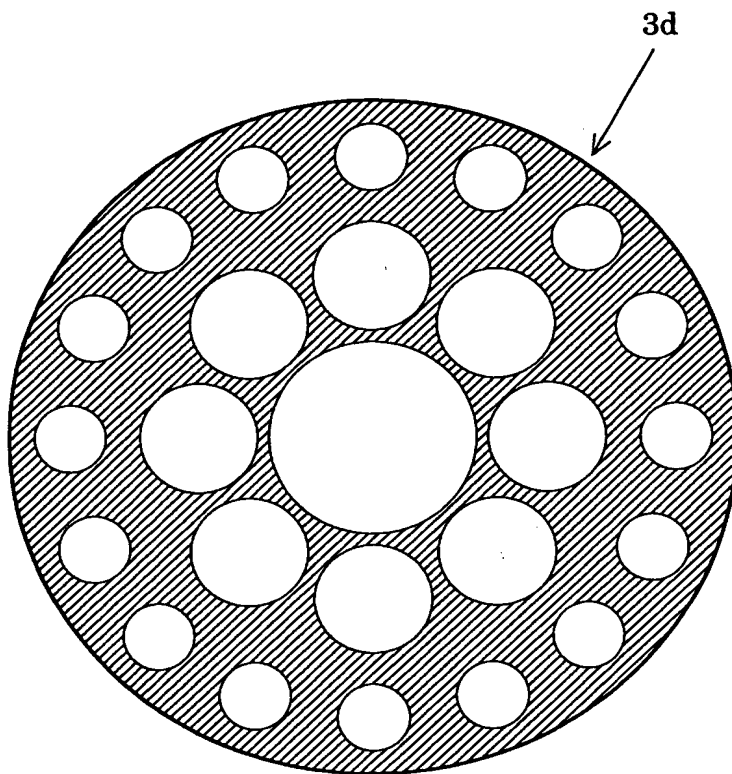
光強度



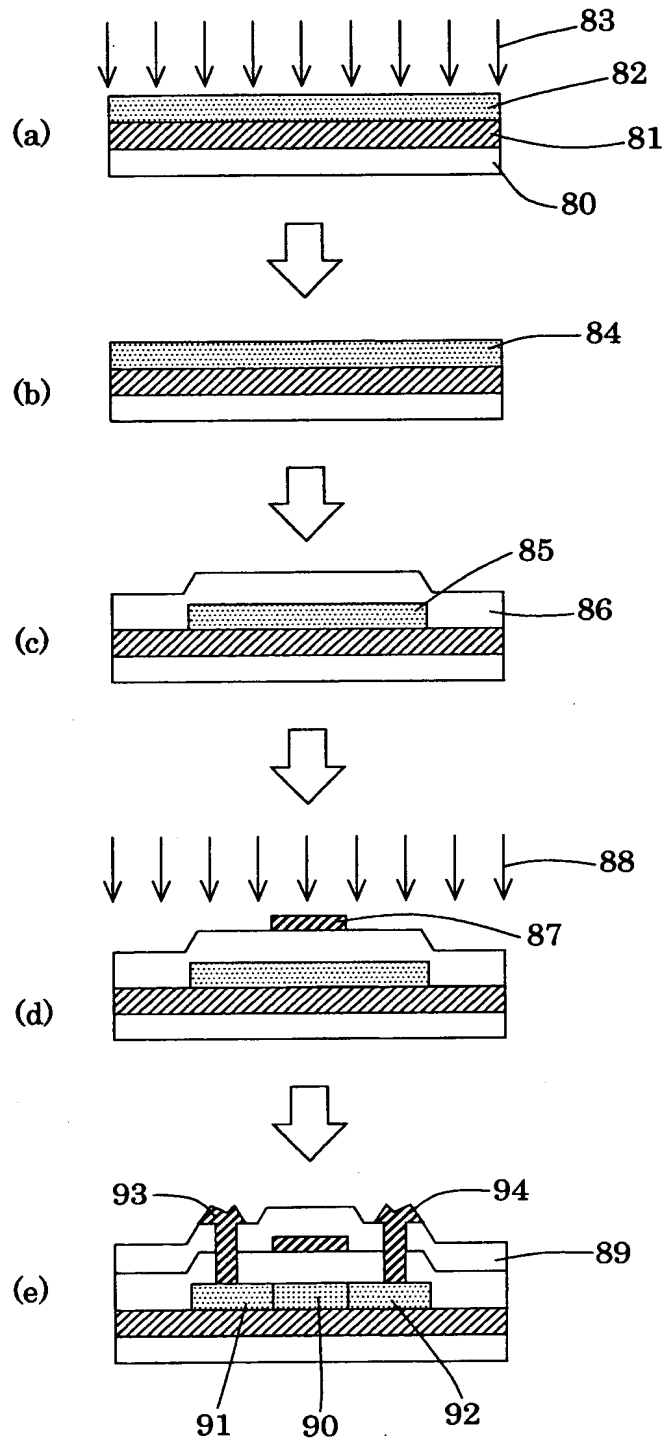
(b)



【図 1 2】



【図 1 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 所望の位置に結晶核を発生させることができるとともに、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置。

【解決手段】 位相シフトマスク（１）を照明する照明系（２）を備え、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する領域において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を半導体膜（４）に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置。逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定された像側開口数を有し、半導体膜と位相シフトマスクとを光学的に共役な関係に設定する結像光学系（３）を備えている。位相シフトマスクは、境界領域と、その両側に配置されて所定の位相差を有する第１領域および第２領域とを有し、境界領域は第１領域の位相から第２領域の位相へ変化する位相分布を有する。

【選択図】 図１

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 7 4 9 6 8
受付番号	5 0 2 0 1 4 1 2 3 7 7
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 4 年 9 月 2 4 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成14年 9月20日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 5 0 1 2 8 6 6 5 7 ]

1. 変更年月日	2 0 0 1 年 7 月 1 8 日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地
氏 名	株式会社 液晶先端技術開発センター